

# 物探在小秦岭寻找隐伏金矿中的应用效果

杨 守 渠

(河南省地质矿产勘查开发局 第一地质矿产调查院, 河南 洛阳 471023)

**摘 要:** 在河南灵宝县某金矿老区, 根据成矿地质条件, 用磁法、甚低频电磁法、瞬变电磁法、激电测深开展金矿找矿评价工作; 在对地质、物探资料综合分析研究的基础上, 根据综合物探预测找矿标志, 在测区圈定出 6 个找矿靶区, 经 4 个钻探孔验证均见到较好金矿, 在小秦岭樊岔 H8703 含金断裂带浅、中部取得找矿突破, 救活矿山一座。物探是经济、快速、有效地探测浅—深部隐伏、半隐伏盲矿体的主要方法之一, 应当继续推广应用。

**关键词:** H8703 金矿化带; 综合物探; 磁法; 甚低频电磁法; 瞬变电磁法; 隐伏金矿

**中图分类号:** P631

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2013)01-0017-06

河南灵宝县黄金局樊岔金矿老区历经多年开采, 由于没有后备资源而停产闭坑, 因此计划在多年来动用大量槽探、坑探工程一直未找到矿的 H8703 矿化断裂带钻探 8 km, 花大力气搞深部风险勘查。为减少盲目探矿工程, 加快找矿进程, 决定采用综合物探方法。经过 4 个月的综合物探(磁法、甚低频电磁法、瞬变电磁法、激电测深) 勘查及对地质、物探综合成果的分析研究, 圈定 6 个异常, 设计的 4 个钻探验证孔全部见矿。运用综合物探方法在小秦岭南部樊岔附近 20 余年来一直未找到矿的 H8703 含金韧—脆性断裂带深部取得了找矿突破, 救活矿山一座, 为今后在该区继续地质找矿圈定了勘探靶区。

## 1 4 种物探方法的不同特点和作用

金在地壳中的含量甚微, 其克拉克值仅为  $4 \times 10^{-9}$ , 一般岩石中含金小于  $0.1 \times 10^{-6}$ , 一般金矿石中含金小于  $(10 \sim 50) \times 10^{-6}$ 。自然金不具磁性, 虽属良导体, 但如此低的含量要用物探方法直接探测几乎是不可能的, 这也是以往找金中物探方法应用较少的重要原因。随着物探仪器灵敏度的提高和物探间接寻找含金硫化物试验的深入研究, 笔者自 20 世纪 90 年代以来, 在豫西金银钼多金属成矿带采用高精度地磁法、甚低频电磁法、瞬变电磁法和激电测深综合物探方法, 在预测寻找隐伏金矿中取得了较好的找矿效果<sup>[1]</sup>。

磁测具有经济、快速、轻便等优点, 适合地形条件较差矿区的大面积普查找矿工作, 用于指示断裂

构造和圈定找矿靶区。以往小秦岭、熊耳山地区大量物探找矿、科研成果表明, 金矿带(体) 属弱或无磁性, 各类围岩大都具有一定磁性, 含矿断裂构造带经挤压破碎、蚀变、矿化后强烈退磁或消磁, 使矿带(体) 相对于围岩显示出明显的低、负磁异常特征。以往利用这种异常特征在地面、坑道中找到了大量富金矿体。

甚低频电磁法轻便、快速, 常与磁法同时测量。它是利用世界多地长波电台发射的 15 ~ 30 kHz 甚低频电波做为场源, 用甚低频电磁仪测量该电波在地下良导体或磁性感应体中产生二次电流引起感应的二次场的方法, 用于圈定找矿靶区。以往小秦岭、熊耳山地区的大量物探找矿实践表明, 在一定条件下, 倾角滤波后的正高值异常往往为地下矿体的反映。在有利条件下, 测量垂深 300 ~ 400 m。

瞬变电磁法的优点是测量结果不受地形影响, 缺点是比较笨重, 适合矿区大范围、大深度、大面积的找矿测量工作。该方法属于时间域电磁法。瞬变电磁测量使用加拿大凤凰公司 PRUTEM56 型仪器, 观测参数为磁场变化率 ( $dB/dt$ ), 用数据处理解释软件包 BETEM 求取磁场垂直分量 ( $B_z$ ), 用  $B_z$  算全程视电阻率, 经一维反演、视电阻率成像变换, 求得不同深度或高程的视电阻率数据。一般用导电体的低电阻率异常圈定深部找矿靶区。

对称四极激电测深方法的仪器比较笨重, 多在矿区详查阶段使用。激电测深采用多功能直流电法仪, 观测参数为视电阻率 ( $\rho_s$ )、视极化率 ( $\eta_s$ )、半衰

时( $T_h$ )、综合参数( $Z_p$ )等。 $\eta_s = \Delta U_2 / \Delta U_1 \times 100\%$ ,  $\Delta U_2$  为二次电位差,  $\Delta U_1$  为一次电位差;  $T_h$  为  $\Delta U_2$  衰减到最大值的一半(即 50%)时所对应的时间;  $Z_p = 0.75\eta_s \times T_h$ , 单位为 ms, 该参数对异常幅度有加强的作用<sup>[3]</sup>。

矿区地形起伏剧烈,各测点的高程差别大,为便于资料分析,绘制参数测深断面图时,纵坐标用测点的地面高程减去  $AB/2$ , 便为带地形的测深断面。由以往大量找矿成果可知,金矿带中的金矿体多显示为明显的低阻、高激电( $\eta_s$ 、 $Z_p$  等)异常。因此,根据单点的  $\rho_s$ 、 $\eta_s$ 、 $Z_p$  等电测深参数曲线的异常特征,可分析、推断矿带发育情况及矿体的埋藏深度,根据多点激电测深数据绘制的断面图异常特征,可分析推断矿带(体)的埋藏深度、产状及其深部变化情况。

## 2 地质特征及预测找金的地球物理标志

### 2.1 工区地质特征

工作区出露的地层主要为新太古界太华群金洞岔组、观音堂组和洞沟组变质绿岩系,其次为第四系冲积、残坡积堆积物。金洞岔组分布于工作区西北部,主要岩石为斜长角闪岩。观音堂组分布于工作区北部王家峪东至木厂峪一带,主要岩性为石英岩、黑云斜长片麻岩等。洞沟组主要出露于工作区中南部王家峪至木厂峪一带,呈近东西向展布,厚度约 700 ~ 900 m,北部北倾,南部南倾,倾角  $80^\circ \sim 85^\circ$ ,主要岩石有混合岩化条带状黑云斜长片麻岩、角闪黑云(黑云角闪)斜长片麻岩、变粒岩,夹有斜长角闪岩,有时有磁铁石英岩。

H8703 含金韧—脆性断裂带分布于工作区南部洞沟组地层内,走向长约 2 600 m,厚 1 ~ 5 m,走向  $15^\circ \sim 80^\circ$ (多  $60^\circ - 70^\circ$ ),倾向西北,倾角  $50^\circ \sim 70^\circ$ 。该断裂带主要由石英脉、蚀变糜棱岩、碎裂岩和少量石英透镜体组成,石英脉、石英透镜体及有的蚀变构造岩中含有不等量黄铁矿,为第一阶段矿化产物,部分地段见第二阶段黄铁矿集合体。在樊岔峪、大岭沟、松树峪、木厂峪等沟岭地表和民采坑道采样分析,金含量为微量  $\sim 4.65 \times 10^{-6}$ ,大于  $1 \times 10^{-6}$  的有 3 个样。这表明该断裂带含金。总体看,该断裂规模大,浅部矿化蚀变较弱。

### 2.2 磁性标志

由小秦岭大量岩矿石磁参数测定统计结果可知,金矿石无磁性,近矿蚀变围岩为微磁性,碎裂、糜棱岩磁性强于蚀变岩且变化范围较大,其余各类岩石磁性较强。

由于遭受蚀变矿化或经构造破碎后的岩石磁性

大大减弱,矿石无磁性,致使它们与未蚀变矿化、未破碎岩石之间有一定磁性差异。因此,在具有一定埋深的隐伏含矿构造带上进行磁法测量,相对背景场将会出现磁力低异常,甚至强烈负异常的指示标志,从而为磁法寻找金矿或寻找与金矿有关的破碎蚀变带提供了物性前提。

### 2.3 电性标志

小秦岭地区电性测定结果表明,邻近矿体的糜棱岩、碎裂岩等构造岩由于含水,电阻率值较低,为  $72 \sim 245 \Omega \cdot m$ ,主要赋矿围岩(混合岩、辉绿岩、伟晶岩等)的电阻率较高,为  $429 \sim 2\,286 \Omega \cdot m$ 。矿带中的石英脉,当厚而完整且弱矿化时,为高阻特征,当破碎强矿化时为低阻特征,电阻率值在  $9.9 \sim 9\,152 \Omega \cdot m$  之间变化。由以上可知,含矿构造带、矿体与各类赋矿围岩之间存在明显电阻率差异,在小秦岭地区具备利用电法(甚低频电磁测量、瞬变电磁测深、对称四极电测深等)寻找含矿构造带及矿体的地球物理前提。

### 2.4 激电标志

由小秦岭岩矿石露头、标本测定结果可知,有开采价值的金矿带极化率值最高,且随其中含多金属硫化物的多少,  $\eta$  值变化于  $1.62\% \sim 93.16\%$  之间,算术平均值高达  $19.82\%$ ;无矿化或弱矿化的石英脉  $\eta$  值较低,随矿化强弱在  $0.21\% \sim 5\%$  之间变化,算术平均值  $3.14\%$ ;无矿构造带(或构造岩)、混合岩等各类围岩  $\eta$  平均值最低,为  $0.8\% \sim 4.38\%$ 。岩矿石电性测定结果表明,金矿体与围岩间有明显的激电特性差异,故在该区用激发极化法(激电测深、激电中梯等)圈定含金硫化物矿化带和含金硫化物富集带具有良好的地球物理前提。

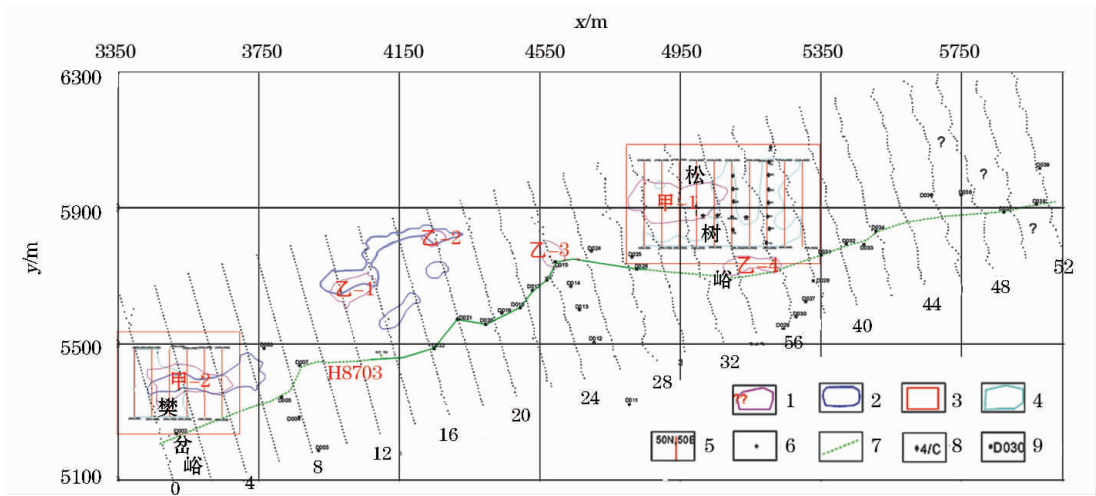
### 2.5 物探预测找矿标志

根据小秦岭地区以往大量物探找金成果,含金矿带(体)的地球物理标志一般为低磁、低阻、高激电(视极化率  $\eta_s$  等)异常和极化椭圆倾角滤波的正高值(良导)异常<sup>[4]</sup>。

## 3 测网布设

磁法、甚低频电磁法测线布置大致与 H8703 矿脉总体走向垂直(图 1),方向为  $165^\circ$ ,线距为 100 m,点距为 10 m。野外依据设计线、点坐标用手持 GPS 和罗盘确定实地点位,地形较好时,实地点位尽量接近设计点位,遇陡崖等难走地形时,适当偏移点位,最终以实地点位坐标绘制成果图件。

瞬变电磁测量线距 50 m,点距 20 m。测线方向为南北向,基本垂直磁异常走向,测线号用 50E、



1—磁异常;2—甚低频异常区;3—瞬变电磁工作区;4—瞬变电磁异常区;5—瞬变电磁测线;6—磁法、甚低频测点;7—H8703 矿带;8—激电测深点线号;9—地质点及编号

图1 樊岔峪矿区物探工作布置

100E…表示,测点用"点号/线号"表示。野外依据设计框、线、点坐标用手持 GPS 和罗盘确定地点位,用编有点/线号的红布条做标记。

在松树峪和樊岔峪圈出的瞬变电磁异常范围内,分别采用穿过异常的南北向和东西向(与樊岔峪高压线方向垂直)剖面线布置激电测深点。松树峪从西向东布置 A、B、C 三条线,A 线为东西向,B、C 线为南北向,A 线与 B 线正交,B、C 线线距 100 m,点距约 40 m,共 16 个测深点。在樊岔峪 0 线布置 4 个测深点,点距约 40 m。

供电、测量极距,用 20 m 点距绑红布条并标记的方法。野外根据设计的 AB/2、MN/2 距用手持 GPS 定位并跑极。

剖面布设工作质量经检查,测地工作定位精度大多 ±5 m,个别卫星信号不好时为 ±10 m,满足物探找矿工作需要。

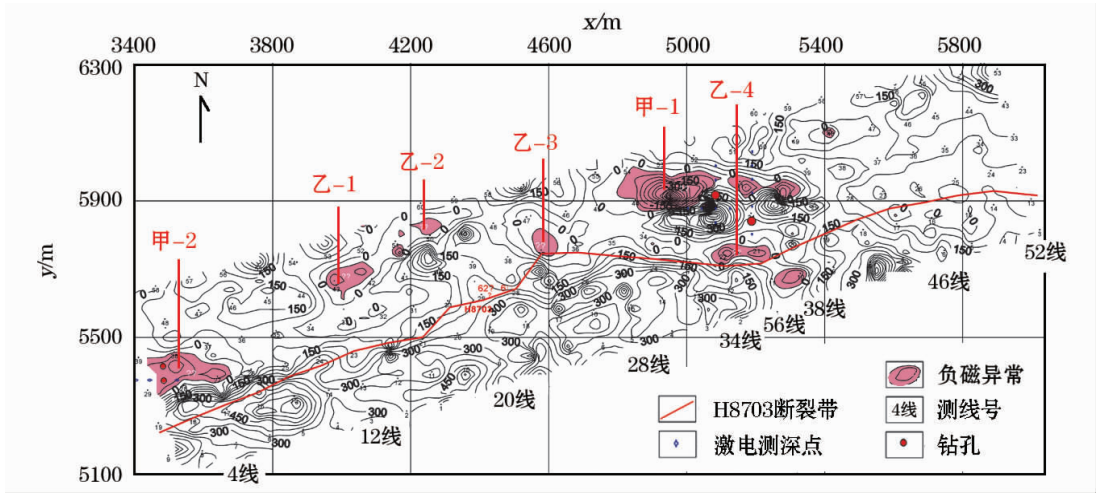
4 异常解释

4.1 磁异常

经过综合分析,确定以 -50 nT 作为异常上限圈定异常<sup>[5]</sup>,将异常规模大、强度大的定名为甲级异常,反之为乙级异常。图 2 为樊岔金矿区 H8703 矿带磁测  $T_a$  异常平面等值线。根据小秦岭磁测找矿标志,全区圈定出 2 个甲级异常、4 个乙级异常为隐伏矿找矿工作靶区。初步推测甲-1 异常主体埋深约 560 m,甲-2 异常体埋深约 320 m。

4.2 甚低频电磁异常

樊岔金矿区 H8703 矿带甚低频电磁测量倾角滤波( $f_{2.3}$ )等值线见图 3。从宏观上看,正异常值  $0^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ,背景场  $0^{\circ} \sim -30^{\circ}$ ,根据以往找矿经验,以  $5^{\circ}$  作为异常下限圈定正值异常,则矿带露头以北大体圈定 3 个异常。



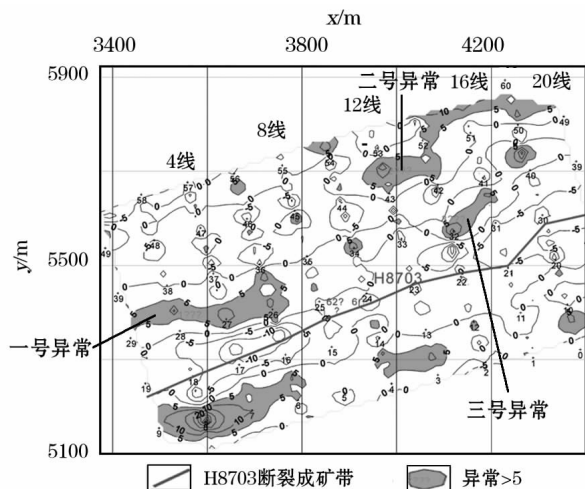


图3 樊岔金矿区 H8703 矿带甚低频电磁测量  
倾角滤波( $\Omega \cdot 3$ )等值线

1号异常与磁测  $T_a$  甲-2 异常套合较好,根据低磁、高倾角异常特征,推测1号异常主要为与矿带有关的良好异常。2号异常与乙-1、乙-2 磁异常套合较好,推测为与矿带有关的良好异常。3号异常位于上岭峪、尖坪峪 14~18 线北部,根据该异常对应的磁异常特征,推断其在 14~16 线为与矿带有关的良好导体引起,在 18 线为磁感应体引起。

此外,在矿带南 40~200 m 有 3 个断续带状的正值异常。其一,0~6 线异常,呈近东西带状,东西长 300 m,宽 70 m,强度  $5^\circ \sim 35^\circ$ ,根据地质资料及野外观察,推断为次级构造(或矿)带及高压电线干扰信息的综合反映;其二,10~12 线异常,强度  $5^\circ \sim 10^\circ$ ,推断为次级构造(或矿)带引起;其三,18 线异常,呈似球形,半径 50 m,强度  $5^\circ \sim 10^\circ$ ,根据该异常对应的磁异常特征,推断为磁感应体引起。

#### 4.3 瞬变电磁异常

樊岔峪测区绘制了 6 条(50E~300E)测线的  $\rho_s$  断面及 300、350、400 m 深度的  $\rho_s$  切片。松树峪测区绘制了 10 条测线的  $\rho_s$  断面及 450、500、550、600、650 m 深度的  $\rho_s$  切片。

由松树峪测区的不同深度  $\rho_s$  切片图可知,由浅到深,  $\rho_s$  值逐渐变小,即由 450 m 深度的 500~9 500  $\Omega \cdot m$  变为 650 m 深度的 0~7 000  $\Omega \cdot m$ ,反映从浅到深地质体的导电性逐渐变好。一般情况下,瞬变电磁  $\rho_s$  切片深度越接近矿带埋藏深度,矿带低电阻率异常显示就越清晰。

按矿带  $62^\circ \sim 66^\circ$  倾角推测,甲-1 异常体埋深 560 m,550 m 深度的  $\rho_s$  切片图异常显示较为清晰(图 4),其  $\rho_s$  值在 500~9 000  $\Omega \cdot m$  之间变化,以 500~5 500  $\Omega \cdot m$  圈定低值异常,则异常形态主要

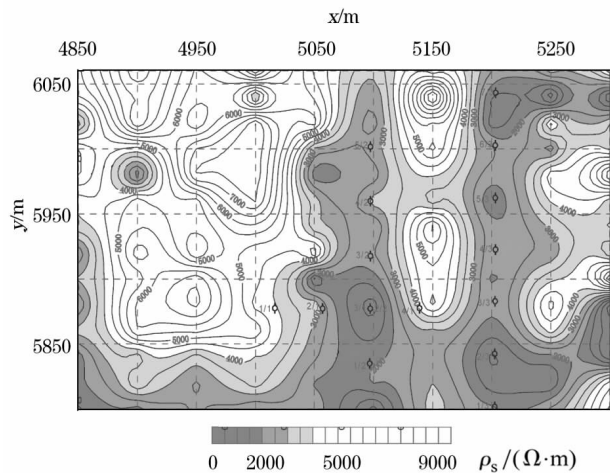


图4 松树峪 550 m 深度  $\rho_s$  切片

呈东西或南北带状,测区面积 450 m × 260 m,异常面积占 50% 左右。在 550 m 深度  $\rho_s$  切片图上的低值异常为深部找矿靶区。

在樊岔峪测区 H8703 矿带,按  $62^\circ \sim 66^\circ$  倾角推测,甲-2 异常体中心埋深约 320 m,因此,瞬变电磁测量做了 300、350、400 m 三个深度  $\rho_s$  切片。在 300 m 深度切片图上,  $\rho_s$  值为 0~4 400  $\Omega \cdot m$ ;350 m 深度图(图 5)上,  $\rho_s$  值为 0~4 200  $\Omega \cdot m$ ,低值异常特征显示明显;在 400 m 深度图上,  $\rho_s$  值为 0~4 000  $\Omega \cdot m$ 。大体以 200~800  $\Omega \cdot m$  等值线圈定低值异常,则异常集中分布在 50E~200E 线,为深部找矿靶区。

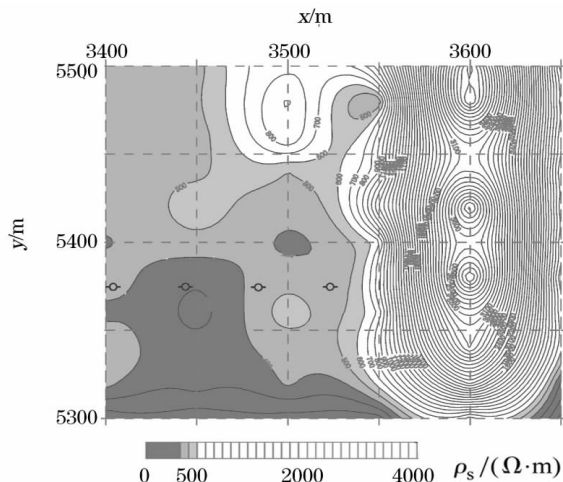


图5 樊岔峪测区 350 m 深度  $\rho_s$  切片

#### 4.4 激电测深异常

在瞬变电磁测量圈定的深部低电阻率异常区开展激电测深工作,旨在进一步探测矿带深部发育情况、产状、埋深和激电异常强度,为钻探验证设计孔位、孔深。按设计在松树峪、樊岔峪测区开展了激电

测深工作,绘制了 20 个测点  $\rho_s$ 、 $\eta_s$ 、 $Z_p$ 、 $T_h$  测深曲线及各线测深断面。

各测深断面图上低阻高激电异常众多,深度不一,分析地质情况和工作环境等因素,原因可能有三种:①小秦岭南矿带大多矿脉南倾,唯 H8703 矿脉北倾,致使异常复杂;②H8703 矿脉旁侧许多隐伏、半隐伏的支矿脉亦会形成异常;③矿区附近坑道施工用电、地面高压电线等游散电流干扰,也可造成异常的复杂性。为了判断与 H8703 矿带有关的异常,通过对比深部异常倾斜方向及埋深、根据矿带产状推测延深等方法,预测深部矿带引起的异常,根据各参数异常显示较好的原则,确定验证孔位。

图 6 为松树峪 B 线测深断面。由图可知,在 1 250 ~ 650 m 高程,1 000 ~ 2 000  $\Omega \cdot m$  等值线呈“V”字型向下弯曲,形成陡立的低阻异常带,推断可能为岩层受构造应力影响垂向裂隙相对较发育并含水所引起。1 000 ~ 650 m 高程,2 400 ~ 3 200  $\Omega \cdot m$  低阻等值线向北陡倾斜,异常倾向与地质推断矿带延伸基本吻合,推断可能为 H8703 深部北倾矿带发育引起,倾角 66°。3 号点对应的推断矿带具有  $\eta_s$  高值异常(3% ~ 9%),推测矿带含较多金属硫化物矿化,矿带埋深 480 m。最终确定 3 号测深点为钻探验证孔位。

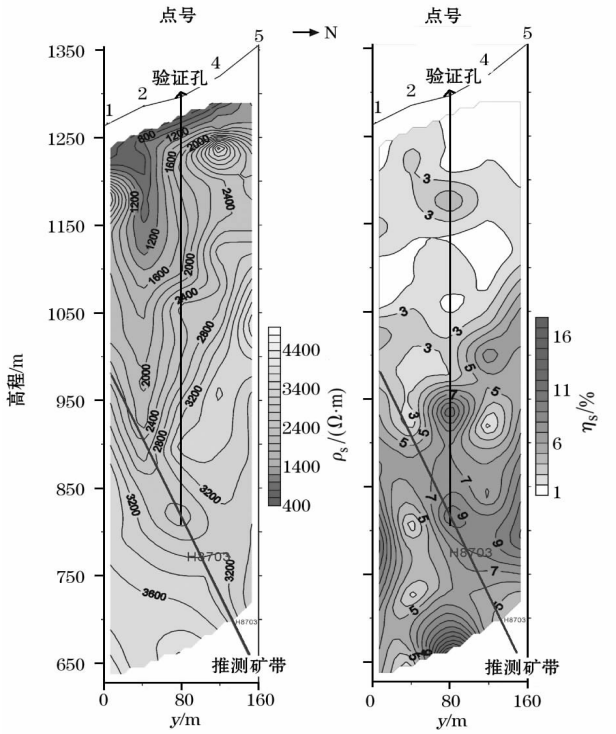


图 6 松树峪 B 线测深断面

图 7 为松树峪 C 线测深断面。根据图中显示的数值特征,大体可划分为三个电性区:高程 900 ~

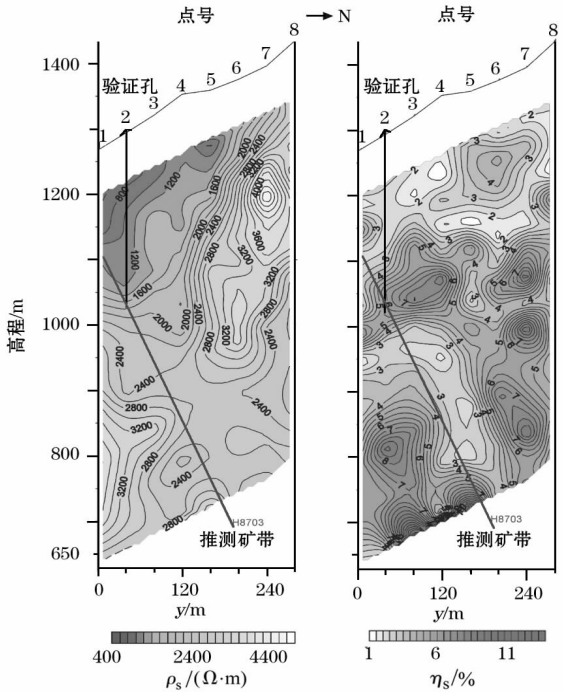


图 7 松树峪 C 线测深断面

650 m 间有 5 ~ 8 号点、1 ~ 4 号点 2 个高阻区,  $\rho_s$  值为 2 800 ~ 3 400  $\Omega \cdot m$ ; 1 ~ 8 号点在 1 250 ~ 750 m 有一倾斜低阻带,根据低阻带宏观向北陡倾斜的特征,推断为深部矿带引起,倾角 66°;该矿带对应的  $\eta_s$  值为 2.5% ~ 8%。2 号点对应的推断矿带处的低阻(1 600  $\Omega \cdot m$ )、高极化异常(5.5% ~ 6%)明显,因此,确定 C 线 2 号点为验证孔位,设计孔深 310 m。

图 8 为樊岔峪 0 线测深断面。该测线为东西向,与矿带走向斜交,因此,主要用高激电( $\eta_s$ 、 $Z_p$ )异常寻找深部强矿化部位。1 ~ 3 号点深部,  $\eta_s$ 、 $Z_p$  高值异常明显,  $\eta_s$  高值为 4% ~ 11%,  $Z_p$  高值异常(2 ~ 13 ms)主要分布在 1 000 ~ 850 m 高程,其深度与按 66°倾角推测的矿带深度比较吻合,推断矿带埋深 240 ~ 320 m。2 ~ 3 号点南 140 余米矿带露头发育,且有沿脉探矿坑道,2 号点在 1 000 ~ 950 m 虽为异常中心,但在高压线下,钻机施工不便。因此,确定在 2 ~ 3 号点之间进行钻探验证,设计孔深 330 m。

5 异常验证

钻探验证的分别是松树峪 B 线 3 号测深点、松树峪 C 线 2 号测深点和樊岔峪 0 线 3 号测深点对应的浅中部异常。验证结果,3 个钻孔在设计深度附近全部见矿,又在樊岔峪见矿孔北异常区施工一钻探孔,也见到较好矿,矿石类型主要为细颗粒黄铁

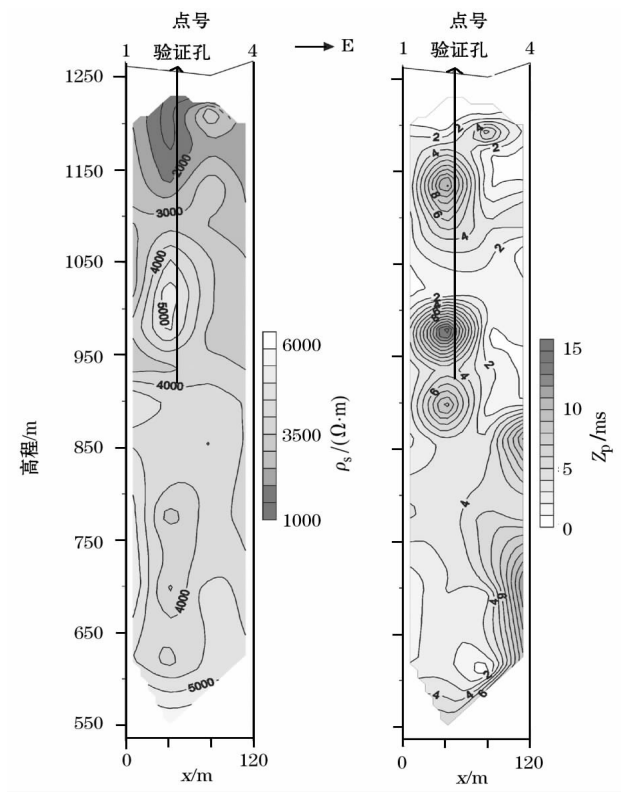


图 8 樊岔峪 0 线测深断面

矿含金石英脉,矿石中含少量铜、铅,厚度 1 至数米,金品位 $(5 \sim 19) \times 10^{-6}$ 。4 个钻孔工程控制的黄金提取量达 1 t 以上,目前还在继续实施钻探工程控制,扩大矿床规模。

6 结论

物探方法主要用于了解深部地质情况,探测浅、深部隐伏半隐伏盲矿体。在金矿找矿工作中,在具备地球物理前提的条件下,用磁法、甚低频电磁(或瞬变电磁)法快速扫面测量可圈定找矿靶区(异常区),在找矿靶区做一定量对称四极激电测深工作,即可预测矿体埋藏深度等,为钻探、坑道工程验证提供深部地球物理依据。上述物探方法在小秦岭樊岔金矿预测找矿工作中又一次取得了较好的效果,应当继续推广应用。在其他类似条件地区也可以应用。

参考文献

[1] 杨守渠, 乔刚, 李萍, 等. 物探在豫西隐伏金矿找矿中的应用[J]. 物探与化探, 2011, 35(4).  
[2] 吕国印. 瞬变电磁法的现状与发展趋势[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(增刊).  
[3] 连克. 山区基岩地下水勘查技术方法[R]. 地矿部水文地质工程地质方法研究所, 1992.  
[4] 杨守渠. 小秦岭大比例尺磁测找金效果[J]. 豫西地质, 1990.  
[5] 杨守渠, 乔刚, 符坚, 等. 河南省灵宝市小秦岭樊岔峪金矿区地质物探找矿评报告[R]. 洛阳地质工程勘察设计院, 2010.  
[6] 史元盛. 金矿地球物理找矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989.  
[7] 何继善. 双频激发法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.

THE APPLICATION EFFECT OF GEOPHYSICAL EXPLORATION IN SEARCH FOR CONCEALED GOLD DEPOSITS IN THE XIAO QINLING MOUNTAINS

YANG Shou-qu

(No. 1 Geological Party, Henan Bureau of Geology and Mineral Resources Development, Luoyang 471023, China)

**Abstract:** Magnetic method, very-low frequency electromagnetic method, transient electromagnetic method and IP sounding were employed to carry out gold prospecting and evaluation in an old gold ore district of Lingbao County, Henan Province, according to metallogenic geological conditions. Based on an integrated analysis and study of the geophysical data as well as the integrated geophysical prognostic criteria, the authors delineated six ore-prospecting target areas, which were proved to be related to gold mineralization by four drill holes. Ore-prospecting breakthrough was achieved in the shallow and middle parts of Fancha H8703 gold-bearing faulted zone of the Xiao Qinling Mountains, and a mine was brought back to vitality. It is proved that geophysical exploration is an economical, rapid and effective means in search for shallow and deep concealed or semi-blind ore deposits and hence deserves further popularized application.

**Key words:** H8703 gold mineralization zone; integrated geophysical exploration; magnetic method; very-low frequency method; transient electromagnetic method; IP; concealed ore deposit

**作者简介:** 杨守渠(1957 - ),男,洛阳地质工程勘察设计院总工,长期从事科研、物探找矿、水文勘查工作,已发表论文 10 余篇,合著专著一本。